저온 플라즈마의 식품 살균 적용 및 효율성에 관한 연구 동향

Research trends on the application of cold plasma to food sterilization and its efficiency.

이창헌[1], 차은송[1], 문승민[1], 심진하[1], 김진현[1], 유대웅[1,2*]
Changheon Lee[1], Eunsong Cha[1], Seungmin Moon[1], Jin Ha Sim[1], Jin Hyeon Kim[1], , Daeung Yu[1,2*]

[1]창원대학교 시니어 휴먼 에콜로지 협동과정(식품영양학전공), [2]창원대학교 식품영양과

[1]Interdisciplinary Program in Senior Human-Ecology, Major in Food and Nutrition, Changwon National University
[2]Department of Food and Nutrition, Changwon National University

유 대 웅

Correspondence to
Prof. Daeung Yu,
Department of Food and Nutrition, Changown National university, Changwon, Gyeongsangnam-do 51140, Republic of Korea
Tel: +82-55-213-3513
E-mail: duyu@changwon.ac.kr

서론

미생물 및 기타 오염에 의한 식중독 감염은 집단 감염 및 사망사고의 원인이 될 수 있다(12). 대표적인 식중독 유발 균은 *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Salmonella enterica*, *Salmonella Typhimurium*, *Campylobacter jejuni*, *Clostridium perfringens*와 같은 균이 존재한다(18). 이러한 균의 불활성화를 위하여 기존에는 고온 가열 및 산성 조건에서의 처리와 같은 방법의 살균법을 주로 사용하였지만, 최근 가공식품에 대한 수요가 증가함에 따라 열 및 산성 조건을 활용한 미생물의 살균 공정을 대체하기 위한 저온 플라즈마, 초고압 살균 등과 같은 비가열 살균 기술을 통한 미생물 비활성화 방법 개발의 필요성이 증가하고 있다(20). 저렴한 비용과 식품 품질에 대한 부정적인 영향이 적기 때문에 저온 플라즈마는 식품 살균 및 보존을 위한 대체 비가열 살균 기술로 주목받고 있다(2). 저온 플라즈마 처리 동안 하이드록실 라디칼(• OH), 산소 원자(O), 과산화수소(H_2O_2), 일중항 산소($^1O_2$) 및 오존(O_3)을 포함한 많은 수의 활성 산소 종(reactive oxygen species, ROS)이 유도된다(4,9,11). 이러한 ROS는 세포 누출, DNA 손상, 지질 과산화, 단백질 변성 및 세포 대사 간섭 등 다양한 방식으로 박테리아의 구조와 기능을 파괴할 수 있으나, 박테리아의 저온 플라즈마 비활성화의 정확한 메커니즘은 잘 알려지지 않았기 때문에 일반적으로 ROS가 박테리아 비활성화에서 주된 역할을 한다는 것으로 알려져 있다(26,37).

박테리아는 세포 외부에 ROS가 존재함에 따라 대부분의 균은 세포 표면 세포막

이 외부 환경에 대응하기 위하여 대사활동을 최소화하고, 에너지 소비 및 세포막의 손상을 최소화하기 위하여 표면적을 감소시키게 된다(9). 이러한 표면 반응 동안에 박테리아의 생존은 가능하지만, 증식할 수 없는 상태로 들어가지만 박멸이 완전하게 이루어지지 않아 박테리아에 의한 식중독 감염성 및 병원성은 억제하지 못해 식중독 감염 위험은 여전히 잠재하고 있다(13,28). 그러나, 세포 내면으로 ROS가 침투하게 되면 세포 내에서 다양한 물질들과 반응하여 세포 내 산화를 유발하고 이를 통해 미생물의 박멸을 이루어 낼 수 있다(1,14,34).

ROS에 의한 세포 내 산화는 박테리아의 DNA 세포 구조를 파괴하고 박테리아의 대사 활동을 억제하기 때문에 이러한 저온 플라즈마에 의한 ROS의 박테리아 사멸 과정은 단순한 구조가 아닌 다양한 반응을 통해 미생물의 불활성화를 이룰 수 있는 것으로 알려져 있으며 이로 인해 ROS가 박테리아 사멸에 주로 기여한다고 밝혀져 있다(10,26,30).

기존 열 및 산성 처리를 통한 식품 세척 및 살균 기술의 대체뿐만 아니라 농산물, 육류 및 가금류 등에도 적용 가능한 새롭고 안전한 효율적인 살균 기술로서 주목받고 있는 저온 플라스마는 비가열 식품 살균 분야 외에도 섬유, 유리, 전자 제품, 종이 및 기타 제품을 처리하기 위해 재료 가공 산업에서 널리 사용되고 있다(23). 그러나 저온 플라즈마를 통한 식품 안전성 향상과 관련된 연구는 비교적 새로운 형태의 연구로, 저온 플라즈마 기술은 식품 살균 적용은 식품 가공 및 연구 분야에서도 새로운 연구 분야이다. 따라서, 본 회고는 저온 플라즈마에 대한 다양한 정보를 제공하며 이를 통한 식중독 유발 균의 불활성화 및 이의 상업적 적용 가능성을 검토하고자 한다.

본문

1. 플라즈마 개요

물질은 일반적으로 세 가지 형태인 고체, 액체 및 기체 형태로 존재하며, 플라즈마 상태란 물질의 네 번째 상태로 알려져 있다. 물질이 에너지를 얻게 되면 고체에서 액체로, 그리고 궁극적으로 기체로 상전이가 일어나게 되며, 모든 물질의 경우 각 상전이에서 분자 간의 상호작용과 구조가 느슨해지며 궁극적으로 완전히 분해되며, 이는 구조가 없는 단일 분자(예: N_2, O_2, CO_2) 또는 단일 원자(예: He, Ne, Ar)의 상태인 기체 상태로 변환되게 된다. 이러한 기체에 더 높은 에너지를 제공하게 되면 분자, 원자 내 구조가 분해되어 자유 전자와 이온을 방출하는 플라즈마 상태로 전환되게 된다. 플라즈마는 중성 전자, 양이온 및 음이온으로 구성된 이온화된 기체로 구성되어 있다(24).

기존에 사용되는 플라즈마인 용접 아크 및 스파크 플러그와 같은 고온(즉, 열) 플라즈마는 가스의 모든 원자를 이온화하지 못하지만, 고온 상태에서 플라즈마가 발생되기 때문에 이온화 상태가 높아 생성된 모든 종의 반응성은 매우 높다. 반면 네온사인 및 플라즈마 디스플레이 화면에서 볼 수 있는 것과 같은, 저온 플라즈마 상태에서도 사용된 가스 종류에 따라 일부 반응종의 반응성은 크게 나타날 수 있다. 이러한 이유로 발생 가스의 화학 조성은 플라즈마의 반응성을 결정하는 중요한 요소가 된다(19).

가스를 플라즈마로 이온화하는 데 필요한 에너지는 열, 전기, 레이저 광, 방사선과 같은 다양한 형태의 에너지가 사용된다. 활성 입자로서 플라즈마는 일정 기간 높은 에너지 상태를 유지하고, 활성 입자가 서로 재결합하면 재결합 과정에서 에너지를 가시광선과 자외선으로 방출하게 된다(24). 식품 가공 분야에서 이러한 플라즈마의 적용 가능성은 플라즈마로부터 유발된 활성화 에너지를 띄는 입자가 식품 오염균과 반응하여 저장된 에너지를 방출하여 미생물 불활성화를 이룰 수 있다(19,24).

2. 저온플라즈마 개요

주변 온도보다 수백 또는 수천도 높은 온도에서 작동하는 열 플라즈마는 식품 품질을 변화시킬 수 있다. 따라서, 낮은 온도의 플라즈마를 발생시키는 것은 저온 플라즈마 기술의 핵심이다. 식품 가공 산업에서 비가열이란 병원체의 비활성화를 위해 열처리에 의존하지 않는다는 것을 의

미한다. 비가열 공정은 일반적으로 처리되는 식품에 열 손상을 거의 또는 전혀 유발하지 않는 공정으로 간주된다(6,24).

저온 플라즈마 비가열 살균에는 기본적으로 세가지 메커니즘이 있다. 첫 번째는 라디칼, 반응성 종 또는 하전 입자와 세포막의 화학적 상호작용이다. 두 번째는 ultraviolet (UV) 방사선에 의한 세포막 및 내부 세포 구성 요소(단백질 및 지질)의 손상이다. 마지막으로, 세포 내 DNA 가닥은 플라스마 종의 재조합 동안 생성된 UV에 의해 파손될 수 있다. 그러나, 저온 플라즈마의 정확한 살균 메커니즘은 아직 밝혀지지 않아 저온 살균 기술로서 저온 플라즈마 기술의 적용은 아직까지는 생소한 분야이다(19,24).

3. 저온 플라즈마를 적용한 최근 연구 동향

저온 플라즈마는 일반적으로 표면 살균 처리 방법으로 간주된다. 사실, 저온 플라즈마는 고분자의 표면 개질 및 기능화를 위해 수십 년 동안 고분자 분야 및 포장 산업에서 사용되어왔다. 그러나 식품을 처리하는 동안 식품이 강한 전기장에 노출될 수 있기 때문에 미생물의 사멸뿐만 아니라 색상 및 질감과 같은 물리적 품질 특성에 영향을 미칠 수 있어 이에 대한 많은 연구가 최근 진행 중이다(17,22,23,35,36).

3.1 저온 플라즈마 처리에 따른 미생물 불활성화 특성

저온 플라즈마 처리에 따른 미생물 불활성화 특성에 관한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 대부분의 연구에서 저온 플라즈마 처리가 식품 유형에 따라 미생물의 불활성화에 차이를 줄 수 있다(8).

Table 1에는 저온 플라즈마 처리에 따른 식품별 미생물 불활성화를 나타내었다. 저온 플라즈마 처리에 따른 미생물 불활성화 특성은 식품의 표면 형태 및 적용 표면적에 따라 차이를 나타낸다. 농산물에서는 과일과 같은 균일한 표면을 가지는 식품군에서 높은 미생물 불활성화를 보

Table 1. Summary of microbial characteristics by treatment of cold plasma

Category	Sample	Microbial Observation	Reference
Fruit	Blueberry	Reduction of up to 2 log in total aerobic levels	(17)
	Strawberry	Reduction of up to 2 log in total aerobic levels	(22)
	Mandarins	Significant reduction of *Penicillium itlicum* (84% reduction in disease incidence)	(36)
	Melon	Reduction of up to 3.4 and 2 log levels in Mesophilic and lactobacilli respectively.	(33)
Vegetable	Red chicory	Reduction of up to 1.35 log MPN/cm^2 *E. coli* O157:H7	(35)
	Romaine lettuce	Reduction of up to 0.4–0.8 log cfu/g of *E. coli* O157:H7 in leaf samples with 1, 3 and 5 layers Reduction of up to 1.1 log cfu/g 7 layers	(23)
Powder	Onion powder	Reduction of up to 2.1 log cfu/cm^2, 1.6 log spores/cm^2 and 1.9 cfu/cm^2 *B. cereus*, *A. brasiliensis* spores, and *E. coli* O157:H7, respectively.	(15)
Juice	Pomegranate juice	N/A	(27)
	Cashew apple juice	N/A	(16)
Meat	Fresh and frozen pork	Reduction of up to 1.5 log in *E. coli* O157:H7 Reduction of up to 〉1.0 log units of *Listeria monocytogenes*	(5)

여준다(15). 블루베리에 저온 플라즈마를 적용한 살균 처리에서는 호기성 세균을 약 2 log 사멸하였다(17). 딸기를 이용한 저온 플라즈마 살균 실험에서도 호기성, 중온성 세균, 효모 및 곰팡이를 약 2 log 사멸하여 미생물 불활성화가 높았다(22). 마찬가지로 귤에서는 표면 *Penicillium itlicum*에 의한 곰팡이 감염율을 84% 억제하였고, 멜론에서는 중온균 및 유산균을 각각 3.4 log 및 2 log 사멸하였다(33,36). 반대로, 상추 및 치커리와 같은 표면적이 불균일한 식품군에서는 미생물의 불활성화가 감소하는 것을 확인할 수 있었다(23,35). 치커리에서는 *E. coli* O157:H7에 대하여 1.35 log 감소하였고, 양상추 실험에서는 0.4 ~ 0.8 log 감소하여 표면적이 균일한 과일보다 낮은 미생물 사멸율을 보였다. 따라서, 농산물에서는 과일과 같은 균일한 표면을 가진 식품군에서 높은 미생물 불활성화를 보여준다(15). 또한 양파 분말에서는 *B. cereus*, *A. brasiliensis* 및 *E. coli* O157:H7에 대하여 각각 2.1 log, 1.6 log, 및 1.9 log 사멸을 보여 분말 식품에서의 저온 플라즈마 살균의 가능성을 보여주었다(15). 육류에서 또한 마찬가지로 냉동 및 신선한 돼지고기에서 1.5 log의 *E. coli* O157:H7 사멸을 보여 다양한 식품군에서 저온 플라즈마 기술의 적용 가능성을 보여주었다. 주스와 같은 음료류의 저온 플라즈마 처리에서는 미생물의 불활성화가 일어나지 않은 것을 확인할 수 있다(16,27). 따라서, 음료류에 저온 플라즈마 처리 기술을 적용하기 위해서는 음료의 접촉 면적을 늘려 저온 플라즈마가 식품 표면에 균일하게 적용될 수 있도록 하는 것이 미생물의 불활성화를 향상하는 방법이다(2).

3.2 저온 플라즈마 처리에 따른 식품 품질 특성

저온 플라즈마의 처리에 따른 식품 품질 특성에 관한 다양한 연구는 다양한 분야 과채류, 육류, 음료류 등에서 수행되었다(4). 대부분의 연구에서 저온 프라즈마의 처리에 대한 미생물의 감소는 관찰되나, 식품의 색, 영양성분, 항산화 활성, 식감, 및 맛 등 다양한 식품의 중요한 지표에는 큰 영향을 주지 않는 기술로서 기존의 열처리 및 산 처리에 의한 식품 품질 지표에 변화와 같은 영향을 유발하지 않았기 때문에 이는 식품의 저온 처리 살균 기술로서의 적용 가능성은 충분하다고 여겨지며 이러한 기술의 발전을 통하여 식품 처리 기술의 다변화를 위한 유용한 기술일 것이라고 사료 된다(5,11,15,36).

Table 2에는 저온 플라즈마 처리에 따른 식품별 품질 특성 변화를 나타내었다. 과일을 대상으로 실험 결과 딸기에서는 색, 및 식감적 지표에서 변화과 관찰되지 않았다(22). 귤과 메론에서도 마찬가지로 색, 당도, 성숙도, 총산도 및 식품 전반적인 품질 지표에 관해서는 변화과 관찰되지 않았다(33,36) 채소인 상추와 치커리의 저온 플라즈마 처리에서도 식감, 색도 등 전반적인 지표에서 큰 변화를 나타내지 않았다. 음료와 분말류에서도 마찬가지로 양파 분말 및 자몽 주스에서도 식품의 큰 변화는 나타나지 않았고, 육류에서도 관능적 특성 및 품질적 특성에 영향을 미치지 않았다(5,15,16). 저온 플라즈마가 식품의 처리에 있어서 식품 품질에는 영향을 미치는 요소가 적다는 것을 확인할 수 있으며, 이에 따른 저온 플라즈마 처리는 식품 저장 안정성을 연장할 수 있는 대체 기술로서의 가능성을 시사할 수 있다고 여겨진다(25). 이를 통해 저온 플라즈마 처리를 위해서는 각 식품에 맞는 적절한 처리 방법 및 조건을 탐색하는 것이 중요하다.

따라서, 저온 플라즈마 기술은 식품 품질 저해는 최소화하며 동시에 미생물의 불활성을 이룰 수 있는 비가열 살균 대체 기술로서 판단된다. 그러나, 적절한 처리 방법 및 조건 탐색이 식품 소재별로 필요하며 그에 따른 기술 공정 변화가 필요하다.

4. 저온 플라즈마의 미생물 살균 효율성

저온 플라즈마의 화학적 구성은 복잡하고 여러 가지 다른 반응 물질이 독립적으로 또는 시너지 효과로 미생물을 비활성화한다. 일반적으로 사용되는 플라즈마 발생 기체에 의해 생성되는 반응성 종에는 전자 및 원자 상태의 들뜬 산소 O_2 및 질소 N_2가 포함된다. 산소 분자 또는 원자의 활성 형태인 ROS는 산소 원자 O, 일중항 산소 $^1O_2$, 과

Table 2. Summary of food quality characteristics by treatment of cold plasma

Category	Sample	Microbial Observation	Reference
Fruit	Strawberry	No significant change in color and elasticity or respiration rate	(22)
	Mandarin	No significant changes in CO_2 evolution, weight loss, soluble solids, acidity, pH, ascorbic acid, and color	(36)
	Melon	No change in acidity, soluble solids, dry matter, color or texture.	(33)
Vegetable	Red chicory	No deleterious effect on freshness, color, and texture	(35)
	Romaine lettuce	No significant changes in surface morphology, color, weight loss, and breathing rate	(23)
Powder	Onion powder	No effect on color, antioxidant activity, and quercetin concentration.	(15)
Juice	Pomegranate juice	No visual differences in color	(16)
Meat	Fresh and frozen pork	No significant change in volatile basic nitrogen, peroxide number, and TBARS No significant effect on sensory characteristics of frozen pork	(5)

Table 3. Summary of inactivation effect of microbial by reactive species

Category	Topic	Microbial Observation	Reference
Microbial inactivation by reactive species	Reactive species	Microbial inactivation due to cell leakage and DNA damage, mainly through erosion of the peptidoglycan layer, which occurs by radicals (OH · or NO ·).	(29)
Identification of reactive species	Optical emission spectroscopy	Singlet oxygen ($^1O_2$) and hydrogen peroxide (H_2O_2) were detected through reaction with specific fluorescent materials after cold plasma treatment	(13)

산화 음이온 O_2^-, 및 오존 O_3와 같은 형태로 존재하며, 질소로 유래된 반응성 질소 종(reactive nitrogen species, RNS)은 원자 질소 N, 여기 질소 N_2(A), 산화질소 NO • 와 같은 형태로 존재한다(29). 미생물 불활성화의 정확한 메커니즘은 아직 입증되지 않았지만, 산소와 질소에 의해 생성된 반응 종이 미생물의 불활성화의 주된 인자이다(3,13). ROS 중에서 오존, 원자 산소, 단일산소, 과산화물 및 수산기가 세균의 불활성화에 관여하는 것으로 고려되며, 대부분의 세균, 특히 혐기성 세균은 ROS 종에 매우 민감하다. 박테리아 세포벽을 통한 ROS의 확산은 세포막, 단백질 및 DNA 가닥의 산화에 의해 국소 손상을 일으킬 수 있다(7,21). ROS는 대장균 DNA의 산화 손상을 유발하였고 일중항 산소와 과산화수소와 같은 ROS가 막 지질 과산화에 관여할 수 있다(9). 이러한 반응성 종의 존재는 광학 방출 분광법에 따라 확인할 수 있다. ROS와 RNS의 하전 입자, 전자 및 이온에 의한 세포벽의 충격은 화학결합을 깨뜨리거나, 에칭을 통해 세포벽의 손상을 유발하며 ROS 및 RNS의 세포 내 침투를 유도하여 미생물 세포 내부 플라즈마 유래 독성 화합물을 형성해 미생물 불활성화를 유발한다(32). 세포막의 구조에 따라 그람 음성균이 그람 양성균과 비교해 미생물의 불활성화가 더 쉬운 것으로 알려져 있다(31). 이는 그람 양성균의 세포막 구조가 그람 음성균에 비해 복잡하고 당과 아미노산으로 구성된 세포벽이 두껍기 때문에 저온 플라즈마에서 발생된 활성종과 세포막과의 표면 화학작용을 어렵게 하기 때문에 이러한 현상이 일어나게 된다(31,35). 따라서, 저온 프라

즈마를 활용한 비가열 살균 효율성 연구는 산소 및 질소등 반응기체 농도에 따른 미생물 불활성화 연구 뿐만 아니라 ROS 및 RNS와 같은 반응성종의 농도 측정 및 이의 영향에 대한 연구를 통한 추가적인 반응성 및 살균 기작 입증에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

결론

저온 플라즈마는 비가열 살균 기술로 식품 품질에 영향은 적으면서 효과적으로 미생물들을 불활성화 시킬 수 있는 기술들 중 하나이다. 그러나, 저온 플라즈마 관련 대부분 연구는 미생물 불활성화 연구에 중점을 두고 있다. 또한 저온 플라즈마 처리는 저장뿐만 아니라 처리 중 식품 품질에 악영향을 미치지 않는것으로 알려져 있지만, 식품의 물리 · 화학적 및 감각적 특성에 미치는 영향에 대한 심도 깊고 체계적인 연구가 필요하다. 저온 플라즈마의 식품 살균은 반응기체 농도에 따른 반응성 종의 생성율과 표면적에 따른 식품과의 상호작용에 관한 보다 체계적이고 구체적인 연구가 필요하다. 또한, 저온 플라즈마 처리를 하기 위한 식품별 적용 조건을 탐색하고 이를 통한 식품 산업에서의 새로운 비가열 살균 기술로의 저온 플라즈마를 적용한다면 식품 산업 전반에 새로운 바람을 불러일으킬 수 있다고 판단된다.

참고 문헌

1. Ahmed, G., Helmann, J. D. (2010). A peroxide-induced zinc uptake system plays an important role in protection against oxidative stress in *Bacillus subtilis*. Molecular Microbiology, 45(4), 997 - 1005.

2. Ali, M., Cheng, J.H., Sun, D-W (2020). Effects of Dielectric Barrier Discharge Cold Plasma Treatments on Degradation of Anilazine Fungicide and Quality of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) Juice. International Journal of Food Science and Technology. https://doi.org/10.1111/ijfs.14600.

3. Alkawareek, M.Y., Algwari, Q.T., Laverty, G., Gorman, S.P., Graham, W.G., O'Connell, D. and Gilmore, B.F. (2012) Eradication of *Pseudomonas aeruginosa* biofilms by atmospheric pressure non-thermal plasma. PLoS ONE 7, e4428

4. Chen, Y. Q., Cheng, J. H., Sun, D. W. (2020). Chemical, Physical and Physiological Quality Attributes of Fruit and Vegetables Induced by Cold Plasma Treatment: Mechanisms and Application Advances. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1654429.

5. Choi, S., Puligundla, P., Mok, C. (2016). Corona discharge plasma jet for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *listeria monocytogenes* on inoculated pork and its impact on meat quality attributes. Ann. Microbiol. , 66, 685 - 694.

6. Fridman A, Chirokov A, Gutsol A. (2005). Non-thermal atmospheric pressure discharges. J. Phys. D Appl. Phys. 38:R1 - 24

7. Gallagher, M.J. Jr, Vaze, N., Gangoli, S., Vasilets, V.N., Gutsol, A.F., Milovanova, T.N., Anandan, S., Murasko, D.M. et al. (2007) Rapid inactivation of airborne bacteria using atmospheric pressure dielectric barrier grating discharge. IEEE T Plasma Sci 35, 1501 - 1510.

8. Guo, J., Huang, K., & Wang, J. (2015). Bactericidal effect of various non-thermal plasma agents and the influence of experimental conditions in microbial inactivation: A review. Food Control, 50, 482 - 490.

9. Han, Y.X., Cheng, J.H., Sun, D.W. (2019). Activities and Conformation Changes of Food Enzymes Induced by Cold Plasma: A Review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 59(5), 794 - 811

10. Imlay, J. A. (2015). Transcription factors that defend bacteria against reactive oxygen species. Annual Review of Microbiology, 69(1), 93 - 108.

11. Jiang, Y. H., Cheng, J. H., Sun, D. W. (2020). Effects of Plasma Chemistry on the Interfacial Performance of Protein and Polysaccharide in Emulsion. Trends in Food Science & Technology, 98, 129 - 139.

12. Johnson, J. R. (2011). Foodborne illness acquired in the United States. Emerging Infectious Diseases, 17(1), 7 - 15.

13. Joshi, S.G., Cooper, M., Yost, A., Paff, M., Ercan,

U.K., Fridman, G., Fridman, G., Fridman, A. et al. (2011) Nonthermal dielectric-barrier discharge plasma-induced inactivation involves oxidative DNA damage and membrane lipid peroxidation in *Escherichia coli*. Antimicrob Agents Chemother 55, 1053-1062

14. Jun, L., & Arne, H. (2014). The thioredoxin antioxidant system. Free Radical Biology and Medicine, 66(8), 75-87.

15. Kim, J.E., Oh, Y.J., Won, M.Y., Lee, K.S., Min, S.C. (2017). Microbial decontamination of onion powder using microwave-powered cold plasma treatments. Food Microbial., 62, 112-123.

16. Kovačević, D. B., Putnik, P., Dragović-Uzelac, V., Pedisić, S., Jambrak, A. R., Herceg, Z. (2016). Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. Food Chemistry, 190, 317-323.

17. Lacombe, A., Niemira, B.A., Gurtler, J.B., Fan, X., Sites, J., Boyd, G., Chen, H. (2015). Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. Food Microbial., 46, 479-484.

18. Law, J. W., Ab Mutalib, N. S., Chan, K. G., & Lee, L. H. (2015). Rapid methods for the detection of foodborne bacterial pathogens: Principles, applications, advantages and limitations. Frontiers in Microbiology, 5, 770.

19. Lieberman MA, Lichtenberg AJ. (2005). Principles of Plasma Discharges and Materials Processing. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience

20. Ma~nas, P., & Pag'an, R. (2010). Microbial inactivation by new technologies of food preservation. Journal of Applied Microbiology, 98(6), 1387-1399.

21. Moreau, M., Orange, N. and Feuilloley, M.G.J. (2008) Non-thermal plasma technologies: new tools for bio-decontamination. Biotechnol Adv 26, 610-617.

22. Misra, N., Patil, S., Moiseev, T., Bourke, P, Mosnier, J., Keener, K.; Cullen, P. (20104). In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. J. Food Eng., 125, 131-138.

23. Min, S.C., Roh, S.H., Niemira, B.A., Boyd, G., Sites, J.E., Uknalis, J., Fan, X. (2017). In-package inhibition of *E. coli* O157:H7 on bulk romaine lettuce using cold plasma. Food Microbiol., 65, 1-6.

24. Niemira BA, Gutsol A. (2010). Nonthermal plasma as a novel food processing technology. In Nonthermal Processing Technologies for Food, ed. HQ Zhang, G Barbosa-C´anovas, VM Balasubramaniam, P Dunne, D Farkas, J Yuan, pp. 271-88. Ames, IA: Blackwell Publishing

25. Pan, Y., Cheng, J.-H., & Sun, D.-W. (2019). Cold plasma-mediated treatments for shelf life extension of fresh produce: A review of recent research developments. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18(5), 1312-1326.

26. Rea, R., Hill, C., & Gahan, C. G. (2005). Listeria monocytogenes PerR mutants display a small-colony phenotype, increased sensitivity to hydrogen peroxide, and significantly reduced murine virulence. Applied and Environmental Microbiology, 71 (12), 8314-8322.

27. Rodriguez, T., Gomes, W.F., Rodrigues, S., Fernandes, F.A. (2017). Effect of indirect cold plasma treatment on cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.). LWT-Food Sci. Technol., 84, 457-463.

28. Scholtz, V., Pazlarova, J., Souskova, H., Khun, J. and Julak, J. (2015) Nonthermal plasma - a tool for decontamination and disinfection. Biotechnol Adv 33, 1108-1119.

29. Schottroff, F., Froehling, A., Zunabovic-Pichler, M., Krottenthaler, A., Schlueter, O., Jaeger, H. (2018). Sublethal injury and viable but non-culturable (VBNC) state in microorganisms during preservation of food and biological materials by non-thermal processes. Frontiers in Microbiology, 9, 2773.

30. Stijn, V. D. V., & Tjakko, A. (2011). Bacterial SOS response: A food safety perspective. Current Opinion in Biotechnology, 22(2), 136-142.

31. Stoffels, E., Sakiyama, Y. and Graves, D.B. (2008) Cold atmospheric plasma: charged species and their interactions with cells and tissues. IEEE Trans Plasma Sci 36, 1441-1457.

32. Sureshkumar, A., Sankar, R., Mandal, M. and Neogi,

S. (2010) Effective bacterial inactivation using low temperature radio frequency plasma. Int J Pharm 396, 17-22.

33. Tappi, S., Gozzi, G., Vannini, L., Berardinelli, A., Romani, S., Ragni, L., Rocculi, P. (2016). Cold plasma treatment for fresh-cut melon stabilization. Innov. Food Sci. Emerg. Technol., 33, 225-233.

34. Turnbull, A. L., & Surette, M. G. (2010). Cysteine biosynthesis, oxidative stress and antibiotic resistance in *Salmonella typhimurium*. Research in Microbiology, 161(8), 643-650.

35. Trevisani, M., Berardinelli, A., Cevoli, C., Cecchini, M., Ragni, L., Pasquali, F. (2017). Effects of sanitizing treatments with atmospheric cold plasma, sds and lactic acid on verotoxin-producing *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* in red chicory (radicchio). Food Control., 78, 138-143

36. Won, M.Y., Lee, S.J., Min, S.C. (2017). Mandarin preservation by microwave-powered cold plasma treatment. Innov. Food Sci. Emerg. Technol., 39, 25-32.

37. Xu, Z., Cheng, C., Shen, J., Lan, Y., Hu, S., Han, W., & Chu, P. K. (2018). In vitro antimicrobial effects and mechanisms of direct current air-liquid discharge plasma on planktonic *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in liquids. Bioelectrochemistry, 121, 125-134.